

УДК 621.316.91:621.335.0

Синчук Олег Николаевич, д-р техн. наук, проф.**Синчук Игорь Олегович**, канд. техн. наук, доц.

Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. XXII Партсъезда, 11, 50027, г. Кривой Рог, Украина

Будников Всеволод Николаевич, канд. техн. наук, доц.

Кременчугский университет экономики, информационных технологий и управления, ул. Пролетарская 24/37, 39600, г. Кременчуг, Украина

Черная Виктория ОлеговнаКременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина, e-mail: chornajav@gmail.com**О СТРОЕНИИ СНАББЕРНОЙ ЗАЩИТЫ МОДУЛЯ
IGB-ТРАНЗИСТОРНОГО ЧОППЕРА**

Рассмотрены возможные причины возникновения и развития аварийных режимов функционирования тяговых электроприводов. Обоснована необходимость исследований и оценки критериев комплекса защит модулей тяговых IGB-преобразователей от нештатных режимов функционирования при питании от тяговой контактной сети и Г-образного входного фильтра. Предложен способ защиты транзисторных модулей от аварийных ситуаций.

Ключевые слова: преобразователь, тяговый электропривод, электровоз, IGB транзисторный модуль, аварийный режим, защита, снаббер, короткое замыкание

Сінчук Олег Миколайович, д-р техн. наук, проф.**Сінчук Ігор Олегович**, канд. техн. наук, доц.

Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. XXII Партз'їзду, 11, 50027, м. Кривий Ріг, Україна

Будніков Всеволод Миколайович, канд. техн. наук, доц.

Кременчуцький університет економіки, інформаційних технологій і управління, вул. Пролетарська 24/37, 39600, м. Кременчук, Україна

Чорна Вікторія ОлегівнаКременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна, e-mail: chornajav@gmail.com**ПРО СТВОРЕННЯ СНАБЕРНОГО ЗАХИСТУ МОДУЛЯ
IGB-ТРАНЗИСТОРНОГО ЧОППЕРА**

Розглянуті можливі причини виникнення та розвитку аварійних режимів функціонування тягових електроприводів. Обґрунтована необхідність досліджень та оцінки критеріїв комплексу захисту модулів тягових IGB-перетворювачів від нештатних режимів функціонування при живленні від тягової контактної мережі та Г-подібного вхідного фільтра. Запропонований спосіб захисту транзисторних модулів від аварійних ситуацій.

Ключові слова: перетворювач, тяговий електропривод, електровоз, IGB транзисторний модуль, аварійний режим, захист, снабер, коротке замикання

Sinchuk Oleg Mykolayovich, Dr. Eng. Sc., Prof.,**Sinchuk Igor Olegovich**, Cand. Sc., Assoc. Prof.State Higher Educational Institution «National University of Krivoy Rog»
ul. XXII Partsyezda, 11, 50027, Krivoy Rog, Ukraine**Budnikov Vsevolod Mykolayovich**, Cand. Sc., Assoc. Prof.Kremenchug University of Economics, Information Technology and Management
ul. Proletarskaya 24/37, 39600, Kremenchug, Ukraine**Chernaja Viktoriya Olegivna**Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ul. Persvomajskaja, 20, 39600, Kremenchug, Ukraine. e-mail: chornajav@gmail.com**ON THE CONSTITUTION OF THE SNUBBER MODULE PROTECTION IGB-TRANSISTOR
CONVERTERS**

The article reviewed potential reasons of occurrence and development of emergency operation modes of traction motor drives. The necessity of performing researches and evaluating criteria of module protection complex of traction IGB converter against abnormal operating mode at delivery of energy from traction overhead system and L-

shaped inlet filter is proved. Safety method of transistor modules against emergency situations was suggested. Operation peculiarities of pulse converter with safety system against emergency situations are reviewed.

Key words: Converter, traction motor drive, electric locomotive, IGB Transistor module, emergency mode, protection, snubber, short circuit.

Введение

Одной из главных задач создания эффективно работающего тягового электропривода (ТЭП) рудничных контактных двухосных электровозов является устранение влияния множества проявляющихся внешних и внутренних факторов на его работу. В связи с чем при разработках схем ТЭП необходимо предусматривать не только возможность обеспечения плавности и экономичности регулирования, возможность дистанционного обеспечения и минимизации потерь энергии, но и защиты электрической части тягового электротехнического комплекса (ТЭТК) от внешних и внутренних воздействий [1]. А поскольку одним из важных слагаемых элементов структуры ТЭМК являются импульсные преобразователи напряжения питания тяговых двигателей, то особого внимания заслуживает вопрос защиты этого элемента от возможного возникновения и развития аварийных процессов [2].

Материал и результаты исследований.

Нештатные или аварийные режимы функционирования ТЭП могут быть вызваны различными факторами, в том числе:

- коротким замыканием электрической цепи;
- разрывом электрической цепи;
- отклонением параметров ТЭП от допустимых;
- отказами элементов ТЭП и т.д. [3-5].

Факторы, вызывающие штатные режимы функционирования ТЭП взаимосвязаны, их проявления многообразны и не ограничиваются приведенным перечнем. Создание подсистем защит, реагирующих на возникновение каждой аварийной ситуации, не целесообразно, исходя из соображений усложнения и увеличение габаритов системы управления ТЭП. В связи с этим приемлемым представляется анализ особенностей функционирования ТЭП рудничных электровозов с точки зрения возможности возникновения штатных ситуаций и реально возможных способов защиты от них узлов ТЭП [5-7].

Повреждение преобразователя обычно связано с IGB транзистором [8-10]. Поскольку модули IGB транзисторных чопперов снабжены элементами обнаружения нарушения работы модуля, то следует самоотключение чоппера и сигнализация в систему управления. В худшем случае разрывается тяговая цепь из-за разрыва IGB транзистора. В наихудшем случае поврежденный IGB транзистор закорачивает цепь. Развитие аварии иллюстрирует рис. 1. На двигателе длительно устанавливается напряжение U_d , превышающее заданное на данной позиции, увеличивается ток двигателя, растет момент, что чревато возникновением боксования. Автомат QN должен отключаться как только аварийный ток достигнет уставки. Причем уставка должна быть не постоянной, а превышать заданный ток на данной позиции на 20-30 %.

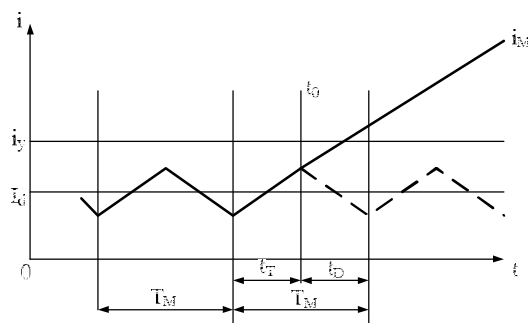


Рис. 1. Развитие аварии при закорачивании IGB транзистора чоппера

На современном этапе развития техники широтно-импульсные преобразователи строятся на базе IGB транзисторных модулей, наиболее совершенными из которых являются интеллектуальные IGB транзисторные модули. Одной из их особенностей является наличие узла самозащиты от сверхтоков, а также узла плавного отключения IGB транзистора при сверхтоке. Для выявления сверхтока в интеллектуальных IGB транзисторах имеется датчик тока, по сигналу которого осуществляется плавное отключение прибора, что позволяет избежать сверхнапряжений в силовой цепи, вызванных наличием в ней распределенной индуктивности. Наличие узлов самозащиты в интеллектуальных IGB транзисторах делает их весьма дорогими, поэтому во многих случаях применяют более простые типы IGB транзисторов, имеющих только датчик сверхтока, по сигналу которого система защиты осуществляет блокировку приборов и отключение преобразователя. Однако, несмотря на наличие самозащиты IGB транзисторов, возможно угрожающее развитие аварий и тогда автономно отключается входной автомат QN .

Для ограничения переходных перенапряжений в большинстве случаев применяются специальные устройства, называемые снабберами. В общем смысле снаббер работает как фильтр низких частот, замыкающий через себя ток переходного процесса. Из всего многообразия известных схем снабберов проанализируем схему RCD-снаббера (рис. 2).

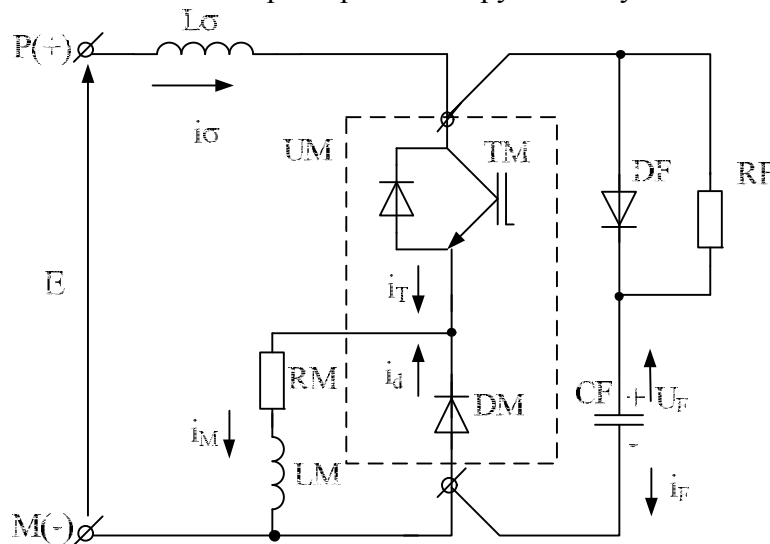


Рис. 2. Упрощенная схема снабберной защиты модуля IGB транзисторного чоппера

В схеме приняты обозначения: E – источник, обладающий обратной проводимостью (высокочастотный конденсатор), RM , LM – нагрузка; UM – чоппер; RF , CF , DF – снаббер, сверхчастотные элементы; $L\sigma$ – паразитная индуктивность монтажных проводов из расчета ~ 1 мкГн/м. Во время коммутации силового ключа ток в первичной обмотке из-за наличия индуктивности мгновенно прерваться не может. Ток закрывающегося ключа TM становится током заряда конденсатора CF через диод DF . При последующем открывании ключа TM конденсатор CF разряжается через него и резистор RF , причем энергия, запасенная в конденсаторе, выделяется на резисторе.

В исходном состоянии включен IGB транзистор TM . Ток $i_\sigma = i_M$ протекает по цепи $P(+)\rightarrow L\sigma\rightarrow TM\rightarrow RM\rightarrow LM\rightarrow M(-)$. В схеме приняты допущения: $i_M = const$, поскольку $L_M \gg L\sigma$. Защитный конденсатор CF заряжен до напряжения $U_F = E$.

Работу снаббера поясняют временные диаграммы на рис. 3. С момента t_1 IGB транзистор TM начинает отключаться, ток в цепи спадает, а в диоде DM нарастает. Ток в цепи питания ($i_\sigma - i_M$) переводится в снаббер, – в конденсатор CF . В момент t_2 IGB транзистор TM отключен, диод DM набрал ток i_M , ток в конденсаторе CF $i_F = i_\sigma = i_M$ спадает

до нуля в момент t_3 , заряжая конденсатор C_F до напряжения U_{FM} , превышающем напряжение источника питания E на величину ΔU_F .

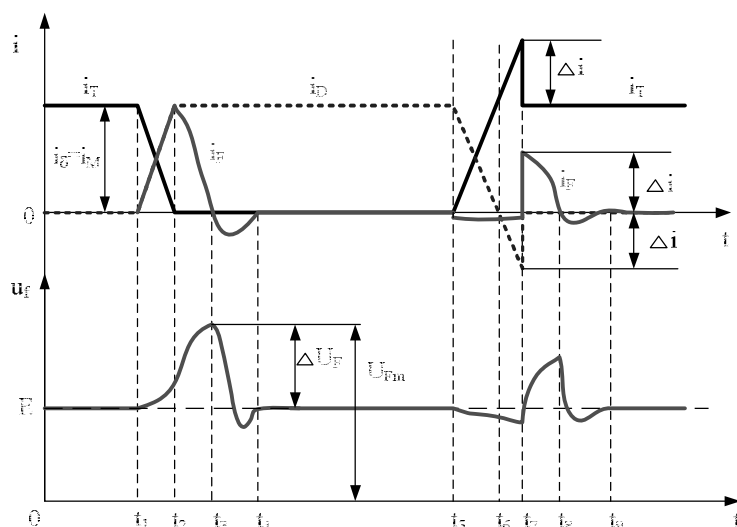


Рис. 3. Идеализированные кривые токов и напряжений чоппера и снаббера

Из соотношения $i^2_{\sigma} L_{\sigma} = \Delta U_F^2 C_F$ с учетом $i_{\sigma} = i_M$ и задавая ΔU_F находим

$$C_F = \frac{i_M^2 \cdot L_{\sigma}}{\Delta U_F^2}. \quad (1)$$

Обычно $U_{FM} = 1,2E$, тогда $\Delta U_F = 0,2E$ и

$$C_F = 25 \frac{i_M^2 \cdot L_{\sigma}}{E^2}. \quad (2)$$

Сопротивление R_F подбирается таким образом, чтобы переходной процесс заканчивался до очередного переключения чоппера, в идеальном случае, чтобы было

$$3,6\tau_F = 3,6R_F C_F = [t_8 \dots t_9] \leq [t_1 \dots t_2], \quad (3)$$

где $[t_1 \dots t_2]$ – время отключения IGB транзистора ТМ.

При этом желательно, чтобы процесс был апериодическим. Так как поставленные условия выбора R_F трудно выполнимы, то реально требовать, чтобы $3,6\tau_F$ было на уровне минимально допустимой длительности проводящего состояния IGB транзистора ТМ в процессе ШИМ напряжения, – $[t_5 \dots t_9 \dots t_1]_{\min}$.

Выводы

Рассмотрены причины возникновения аварийных ситуаций в элементах преобразователя напряжения питания тяговых электрических двигателей и способы защиты от них. Предложенный способ расчета снабберной цепи позволит сделать правильный выбор системы защиты и предотвратить развитие аварийных процессов в тяговой цепи тягового электротехнического комплекса.

Список использованной литературы

1. Сінчук, О. М. Нештатні режими і структура системи захисту від них при функціонуванні двоосних електровозів / О. М. Сінчук, В. О. Чорна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №2/2012. – С. 100–104.
2. Сінчук, О. М. Дослідження псевдоаварійних режимів роботи імпульсних перетворювачів тягових електротехнічних комплексів рудникових електровозів / О. М. Сінчук, І. О. Сінчук, В. О. Чорна // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КНУ, 2011. – Вип. 1/2011 (1). – С. 36–37.
3. Руденко, В. С. Преобразовательная техника / В. С. Руденко, В. И. Сенько, И. М. Чиженко. – К. : Высшая школа, 1978. – 118 с.

4. Перетворювальна техніка: підручник / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьоний, В. Г. Морозов та ін. ; під ред. В. С. Руденко. – Харків: Фоліо, 2000. – 360 с.
5. Маркин, В. В. Техническая диагностика вентиляльных преобразователей / В. В. Маркин, В. Н. Миронов, С. Г. Обухов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 152 с.
6. Макаренко, М. П. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу / М. П. Макаренко, В. І. Сенько, М. М. Юрченко. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2006. – 241 с.
7. Транзисторные преобразователи с улучшенной электромагнитной совместимостью: учеб. пособие / А. К. Шидловский, А. В. Козлов, М. С. Комаров, Г. А. Москаленко. – К.: Наукова думка, 1993. – 272 с.
8. R. S. Chokhawala, J. Catt, L. Kiraly A discussion on IGBT short-circuit behavior and fault protection schemes // IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 31, no. 2, pp. 256–263, Mar. 1995.
9. F. Huang, F. Flett IGBT fault protection based on di/dt feedback control // IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2007, P. 1478–1484.
10. J. Lee, D. Hyyn Gate voltage pattern analyze for short-circuit protection in IGBT inverters // IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2007, P. 1913–1917.

References

1. Sinchuk, O., Chernaja, V. (2012), Troubleshooting modes and structure of the system of protection against them in the operation of electric [Neshtatni rezhimy i structura systemy zahisty vid nyh pri funktsionuvanni dvoosnih elektrovoziv], Vinnica, P. 100–104.
2. Sinchuk, O., Sinchuk, I., Cherna, V. (2011), Research about emergency modes of pulse transformers electrical traction systems mine locomotives [Doslidzhennya psevdovariynih rezhimiv roboty impulsnih peretvoryuvachiv tyagovyh elektrotehnichnih kompleksiv rudnikovyh elektrovoziv], Kremenichuk, KNU, P. 36–37.
3. Rudenko, V., Senko, V., Chizhenko, I. (1978), Conversion equipment [Preobrazovatel'naya Technology], Vysshaya shkola, Kyiv, 118 p.
4. Goncharov, Ju., Budyenny, O., Morozov, V., Rudenko, V. (2000), Conversion equipment [Peretvoryuvalna tehnika], Folio, Charkov, 360 p.
5. Markin, V., Mironov, V., Obuhov, S. (1985), Technical diagnostics rectifier converters [Technicheskaya diagnostica ventilnyh preobrazovateley], Moscow, 152 p.
6. Makarenko, M., Senko, V., Jurchenko, M. (2006), Systems analysis of electromagnetic processes in semiconductor converters electric modulation type [Systemniu analiz elektromagnitnih protsesiv u napivprovidnikovih peretvoriuvachah elektroenergiї modulyatsiynogo typu], Institut elektrodinamiki NAN Ukrainy, Kyiv, 241 p.
7. Shidlovskju, A., Kozlov, A., Komarov, M., Moskalenko, G. (1993), Transistor converters with improved electromagnetic compatibility [Tranzystornje preobrazovатели s uluchshennoy elektromahnytnoy sovместymostyu], Naukovs dumka, Kyiv, 272 p.
8. R. S. Chokhawala, J. Catt, L. Kiraly A discussion on IGBT short-circuit behavior and fault protection schemes // IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 31, no. 2, pp. 256–263, Mar. 1995.
9. F. Huang, F. Flett IGBT fault protection based on di/dt feedback control // IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2007, P. 1478–1484.
10. J. Lee, D. Hyyn Gate voltage pattern analyze for short-circuit protection in IGBT inverters // IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2007, P. 1913–1917.

Поступила в редакцию 20.07 2014 г.